

# INTERAÇÃO ENTRE PARTÍCULAS DE HEMATITA FINA E GANGA QUARTZOSA

## PARTICLE INTERACTION BETWEEN FINE HEMATITE AND SILICATE GANGUE

**Gabriel Araujo Reis Rosa**

Aluno de Graduação da Escola de Nanotecnologia 3º período, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: fevereiro de 2017 a julho de 2017

garosa@cetem.gov.br

**Marisa Bezerra de Mello Monte**

Orientador, formação acadêmica, D.Sc.

mmonte@cetem.gov.br

### RESUMO

No processo de concentração de minério de ferro, o quartzo é recuperado na espuma de flotação conduzida na presença de amido gelatinizado (depressor da hematita) e do coletor eteramina (R-O-(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-NH<sub>2</sub>), em meio alcalino. Este trabalho apresenta um estudo da interação entre partículas de quartzo e finos de hematita, a partir de experimentos de microflotação, determinação do potencial zeta e da distribuição de tamanho de partículas individuais e mistas, quartzo e hematita, na presença e na ausência do sistema de reagentes e em pH =10,5. Os resultados mostram que com o aumento da concentração de finos de hematita no sistema, ocorreu uma perda de hematita no material recuperado na espuma. As medidas de distribuição de tamanho de partículas mostraram que ocorre dispersão das partículas de quartzo e hematita, na ausência dos reagentes de flotação e em pH=10,5. No entanto, dependendo do volume de partículas ultrafinas de hematita e na presença dos reagentes, pode ocorrer outros mecanismos que promovem a recuperação de hematita na espuma (arraste mecânico e/ou aumento da adsorção de amido nos finos de hematita) conforme mostrado pelos ensaios de microflotação.

**Palavras chave:** heterocoagulação, flotação de quartzo, minério de ferro

### ABSTRACT

In the process of iron ore concentration, quartz is floated in the presence of gelatinized starch (hematite depressant) and the collector etheramine (RO- (CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-NH<sub>2</sub>) in alkali medium. In this work, the interaction between quartz particles and hematite fines was studied by measuring the zeta potential distribution of hematite and quartz, in the presence of this flotation reagent system at pH 10.5. The particle size distribution and microflotation tests, of individual and combined hematite and quartz, were carried out, in the presence and absence of the flotation reagents at pH = 10.5. These results show that with increasing hematite fines concentration in the pulp, a loss of hematite fines occurred in the material recovered in the froth. The measurements of particle size distribution showed that dispersion of the quartz and hematite particles occurs in the absence of flotation reagents and at pH = 10.5. However, depending on the volume of ultrafine hematite particles and in the presence of this reagent system, entrainment or increasing of the starch adsorption on fines of hematite may occur, as shown by microflotation tests.

**Keywords:** heterocoagulation, flotation of quartz, iron ore.

## 1. INTRODUÇÃO

O efeito da presença de partículas finas e ultrafinas no desempenho da flotação tem recebido à atenção de diversos pesquisadores (Duarte e Grano, 2007). De fato, a recuperação do mineral valioso na presença de finos constitui-se em um dos maiores desafios enfrentados pelo processo de flotação. A influência deletéria do recobrimento das partículas do mineral-minério por finos e ultrafinos, na flotação catiônica de hematita-quartzo, foi comprovada por vários estudos. A lama contendo minerais de ferro interfere na depressão do quartzo na faixa de pH entre 6 e 10. (Araújo, 1982). A adição de reagentes pode modificar as propriedades de superfície dos minerais na suspensão provocando a heterocoagulação das partículas. A química de superfície dessas partículas tem uma influência significativa sobre como os minerais comportam-se em suspensão.

Há vários métodos para caracterizar o fenômeno da heterocoagulação (Liang *et al.*, 2017). A microscopia eletrônica de varredura é usualmente empregada para observar os agregados produzidos pela heterocoagulação, e, em particular, quando existem diferenças de cor, tamanhos e formas entre as partículas que se agregam. A determinação da distribuição de tamanho e do potencial zeta das partículas, isoladas e/ou misturadas em uma suspensão, são consideradas excelentes ferramentas para estudar e prever a interação entre partículas.

## 2. OBJETIVOS

Neste trabalho objetiva-se o estudo da interação entre partículas de quartzo e finos de hematita, a partir da combinação de experimentos de microflotação, determinação do potencial zeta e da distribuição de tamanho de partículas individuais e mistas, quartzo e hematita, na presença e na ausência do sistema de reagentes e em pH 10,5.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Materiais

Amostras minerais de quartzo e hematita, de alta pureza, oriundas do estado de Minas Gerais foram utilizadas neste projeto. Os reagentes de flotação utilizados foram: amido de milho (Vetec), flotigam EDA (Clariant) e NaOH (10%). O amido de milho, sempre que utilizado, foi gelatinizado previamente com hidróxido de sódio na proporção amido-NaOH (5:1) em agitação magnética.

As amostras foram preparadas separadamente para os experimentos, sendo, primeiramente cominuadas e depois peneiradas a úmido, para obtenção da fração -106+74 $\mu$ m. As frações <20  $\mu$ m e <10  $\mu$ m foram obtidas pelo emprego de um cyclosizer. A seguir, estas frações foram suspensas em solução de KOH (1,0 mol.L<sup>-1</sup>) por agitação magnética durante 3 horas. Posteriormente, foram lavadas repetidas vezes com água milli-Q até atingirem o pH desta mesma água. Estas duas últimas etapas tiveram por objetivo limpar a superfície das partículas minerais.

### 3.2. Métodos

Os testes de microflotação de partículas de quartzo, na granulometria -104+74 $\mu$ m, foram realizados em tubo Patricth-Smith modificado de 250 mL de volume. As partículas foram mantidas em suspensão por meio de agitação magnética. O condicionamento foi realizado na própria célula, na qual se usou 2,0 g de amostra mineral e 50 mL de eletrólito (NaCl 1.10<sup>-3</sup> mol.L<sup>-1</sup>), com adição de amido, durante cinco minutos; após, foi adicionada eteramina (50 mg.L<sup>-1</sup>), e o sistema foi condicionado por mais um minuto. O tempo de flotação foi a variável estudada. Os ensaios foram realizados em pH = 10,5 e o ajuste realizado a partir de soluções diluídas de HCl e NaOH. Neste experimento estudou-se ainda o efeito da adição de finos de hematita (<20  $\mu$ m) na recuperação e seletividade da flotação do quartzo.

As medidas de potencial zeta dos minerais avaliados neste estudo foram realizadas individualmente no equipamento Malvern-Zetasizer (modelo Nanosizer ZS). Em ambos os casos, a concentração mineral foi de 1 g.L<sup>-1</sup> e NaCl (1.10<sup>-3</sup> mol.L<sup>-1</sup>) foi utilizado como eletrólito

indiferente. O pH foi ajustado a partir de soluções diluídas de HCl e NaOH. A avaliação dos perfis de potencial zeta para as superfícies de hematita e quartzo foi realizada antes e após a interação com amido ( $500 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e eteramina ( $5 \text{ mg.L}^{-1}$ ). O tempo de condicionamento entre mineral e reagente foi de duas horas.

A determinação da distribuição de tamanho de partículas foi executada utilizando-se um Zetasizer Nano Series ZS (Malvern Instruments, Worcestershire, UK). As medidas foram realizadas a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , após diluição apropriada das amostras em solução de NaCl ( $1.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ ). Cada análise de tamanho durou 120 segundos e foi obtida a partir de um ângulo de detecção de  $173^\circ$ .

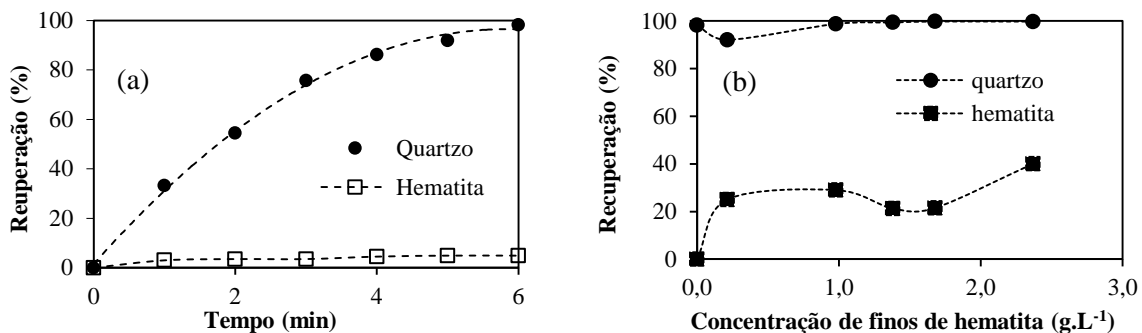
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da recuperação de partículas isoladas de quartzo e hematita em função do tempo são apresentados na Figura 1(a). Para um mesmo sistema de reagentes, o quartzo exibiu flotabilidade próxima a 100% para seis minutos de flotação, enquanto que a flotabilidade da hematita apresentou valores próximos a 0%. Na Figura 1(b) apresentam-se os resultados da flotação de quartzo em função da concentração de finos de hematita. Conforme observado nos resultados mostrados na Figura 1(b), a recuperação de quartzo não é influenciada pela adição de finos de hematita na faixa de concentração e de tamanho de finos estudada. No entanto, com o aumento da concentração de finos no sistema, as partículas de hematita que deveriam ter sido afundadas, foram recuperadas na espuma de flotação e se reportaram à espuma. Há diversos mecanismos pelos quais partículas finas ( $< 20 \text{ }\mu\text{m}$ ) podem ser coletadas nos concentrados por flotação: (i) arraste mecânico (processo não seletivo); (ii) flotação verdadeira (a etapa de condicionamento aplicado torna o mineral seletivamente hidrofóbico) e; (iii) a agregação entre os finos e o mineral hidrofobizado (heterocoagulação). As partículas mais finas de hematita poderiam aderir às mais grossas de quartzo, durante o processo de flotação.

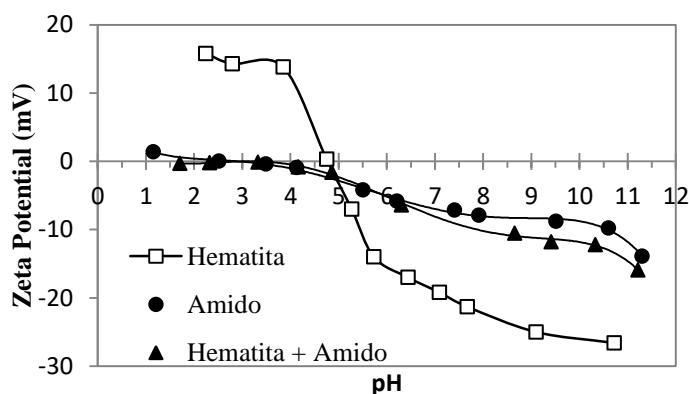
A Figura 2 apresenta o efeito do pH no potencial zeta das partículas de hematita, na presença e na ausência de amido. Observa-se que o ponto de carga zero (p.c.z.) da hematita apresentou valor de pH 5,0, o qual está próximo aos valores reportados na literatura (Fuersternau, 1982). Após interação com amido, a hematita apresentou um ponto isoelétrico de carga em pH 4, indicando a adsorção do amido. Esse comportamento sugere uma interação específica entre as moléculas de amido e a superfície do óxido, uma vez que o PEI (ponto isoelétrico) é drasticamente deslocado para valores de pH mais baixos (Fuersternau, 2005). Além disso, em pH 10,5, tanto o amido como a hematita estão carregados negativamente, o que sugere que a interação entre essas superfícies não se baseia em interação puramente eletrostática.

Os valores de potencial zeta do quartzo mantém-se negativo a partir do p.c.z obtido em pH=1,8 (Ver Figura 3). Este resultado está em concordância com a literatura (Fuersternau e Pradip, 2005). Na presença do amido, observa-se uma variação no perfil da curva de potencial zeta versus pH, mostrando que ocorreu uma interação entre o amido e o quartzo, na faixa mais ácida de pH. Em meio alcalino, os valores de potencial aproximam-se dos valores obtidos na ausência de aditivos. Na presença do coletor e teramina, o potencial zeta do quartzo adquiriu carga positiva entre os valores de pH 2 e 3,5 e a seguir, entre 10 e 10,8. A reversão de carga (de negativa para positiva) está relacionada à interação eletrostática entre o coletor e a superfície do quartzo.

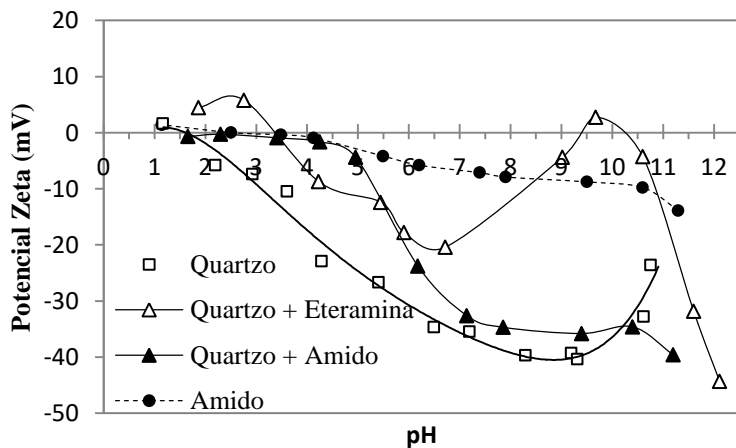
A Figura 4(a) mostra a frequência da distribuição em função do tamanho das partículas de quartzo, isoladas e em mistura na proporção hematita: quartzo (1:5). Conforme pode ser observado, as partículas de quartzo, na ausência de finos de hematita, apresentam somente um pico em  $104 \text{ }\mu\text{m}$ . Com a adição de finos de hematita na suspensão de quartzo, observa-se além deste último pico, uma pequena banda próxima a  $10 \text{ }\mu\text{m}$ . Na Figura 4(b) apresentam-se as distribuições de tamanho da mistura, na presença e na ausência do sistema de reagentes de flotação. Conforme pode ser observado, o pico em  $104 \text{ }\mu\text{m}$  predomina para todos os sistemas avaliados, sem ocorrência de deslocamento. Este fenômeno é consistente com os dados de potencial zeta, os quais indicam que as partículas de hematita e quartzo estão dispersas para este sistema de reagentes em pH 10,5.



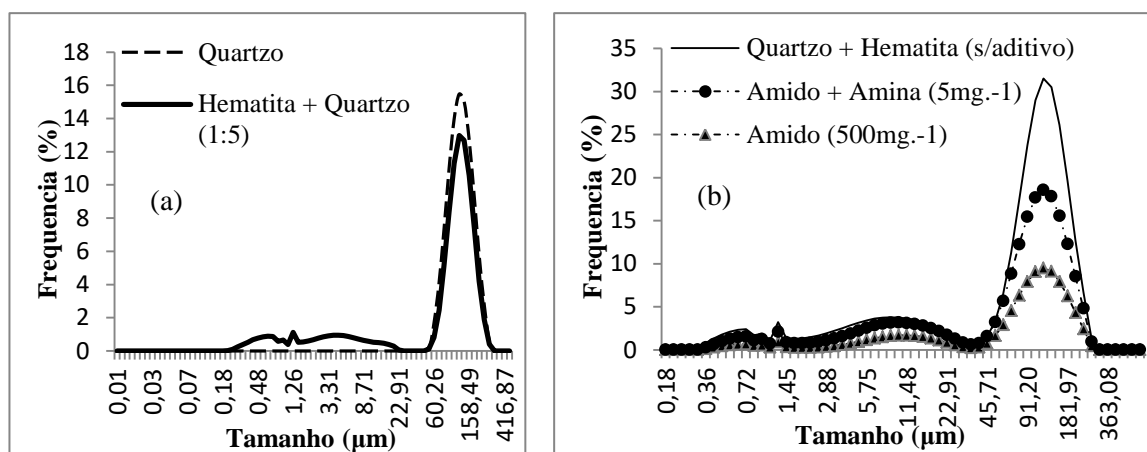
**Figura 1:** Recuperação de quartzo (-106+75  $\mu\text{m}$ ) e de hematita (-106+75  $\mu\text{m}$ ) na presença de 1000  $\text{mg.L}^{-1}$  de amido e 5  $\text{mg.L}^{-1}$  de eteramina e em pH 10,5. (a) em função do tempo; (b) em função da concentração de finos de hematita (< 20  $\mu\text{m}$ ).



**Figura 2:** Potencial zeta de partículas de hematita em função do pH, na presença e na ausência de 500  $\text{mg.L}^{-1}$  de amido. Eletrólito indiferente =  $1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .



**Figura 3:** Potencial zeta de partículas de quartzo em função do pH, na presença e ausência de amido (500  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e eteramina (5  $\text{mg.L}^{-1}$ ). Eletrólito indiferente =  $1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .



**Figura 4:** Distribuição de tamanho de partículas (a) de quartzo e uma mistura hematita:quartzo (1:5) e (b) na presença e ausência de amido ( $500 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e eteramina ( $5 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Eletrólito indiferente =  $1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

## 5. CONCLUSÕES

As medidas de distribuição de tamanho de partículas mostraram que ocorre dispersão das partículas de quartzo e hematita, na ausência dos reagentes de flotação e em  $\text{pH}=10,5$ . No entanto, outros mecanismos podem ocorrer, os quais poderiam promover a recuperação de hematita na espuma (arraste mecânico e/ou aumento da adsorção de amido nos finos de hematita) conforme mostrado pelos ensaios de microflotação.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Marisa B. M. Monte e supervisoras Elayne Peçanha Rohen e Marta Albuquerque pela oportunidade de fazer uma Iniciação Científica no CETEM e por toda a ajuda. Meu agradecimento é extensivo ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica a mim concedida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, A. C. Influência de Íons de Alumínio e Caulinita na Flotação Catiônica de Quartzo e Hematita. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1982, 121 p. (Dissertação de Mestrado, Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Área de Tecnologia Mineral).
- DUARTE, A. C. P; GRANO, S. R. Mechanism for the recovery of silicate gangue minerals in the flotation of ultrafine sphalerite. *Minerals Engineering*, v.20, pp. 766-775, 2007.
- FUERSTENAU, D. W.; PRADIP. Zeta potentials in the flotation of oxide and silicate minerals. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 114-115, pp.9-26, 2005.
- FUERSTENAU, D. W. Mineral-Water Interfaces and the Electrical Double Layer. In: KING, R. P. (Ed.). *Principles of Flotation*. Johannesburg, Republic of South Africa, 1982, pp.17-31.
- IANG, L.; WANG, L.; NGUYEN, A.V.; XIE, G. Heterocoagulation of alumina and quartz studied by zeta potential distribution and particle size distribution measurements. *Powder Technology*, v. 309, pp. 1-12, 2017.
- QUEIROZ, L. A. Emprego da atrição na deslamagem: efeitos na flotação reversa de minérios itabiríticos. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2003, 165 p. (Dissertação de Mestrado, Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Área de Tecnologia Mineral).